

УДК 621.314.26

**Сараханова Регина Юрьевна**, магистр

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия, пр. Карла Маркса, 20 к4, 63007. Тел. +7-953-778-14-22. E-mail: Sarahanenok@mail.ru

**Харитонов Сергей Александрович**, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Электроника и электротехника»

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Россия, пр. Карла Маркса, 20 к4, 63007. Тел. +7-913-379-23-26. E-mail: kharit1@yandex.ru

**ЦИКЛОКОНВЕРТОР НА БАЗЕ ШЕСТИФАЗНОЙ НУЛЕВОЙ СХЕМЫ С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ ОБЪЕКТОВ**

*В статье рассматривается циклоконвертор с векторным способом управления вентильными комплектами. Представлен способ повышения входного коэффициента мощности и величины основной гармоники выходного напряжения преобразователя, построенного на базе шестифазной нулевой схемы. Увеличение первой гармоники выходного напряжения и входного коэффициента мощности достигается путем усложнения схемы циклоконвертора и введения комбинированного закона управления. Приведены основные зависимости и осциллограммы напряжений и токов. Представленная схема циклоконвертора с комбинированным законом управления интересна в качестве системы генерирования электроэнергии для автономных объектов.*

**Ключевые слова:** циклоконвертор, векторное управление, комбинированный закон управления, входной коэффициент мощности.

**Sarakhanova Regina Yurievna**, MA. Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia, Karl Marx ave. 20 b4, 630073. Tel. +7-953-778-14-22. E-mail: Sarahanenok@mail.ru

**Kharitonov Sergey Aleksandrovich**, Ph. D., Prof., head of the Department of Electronics and Electrical Engineering. Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia, Karl Marx ave. 20 b4, 630073. Tel. +7-913-379-23-26. E-mail: kharit1@yandex.ru

**CYCLECONVERTER BASED ON SIX-PHASE ZERO CIRCUIT WITH VECTOR CONTROL FOR ELECTRICAL POWER SYSTEM OF AUTONOMOUS OBJECTS**

*The article presents cycleconverter with vector control method. The method of increasing input power factor and fundamental harmonic amplitude in output voltage of the converter with six-phased zero scheme is described. The increase of input power factor and fundamental harmonic amplitude in output voltage is achieved by complicating the scheme of cycleconverter and inserting combined control law. The main dependences and oscillograms of voltages and currents are reported. Presented scheme of cycleconverter with combined control law can be applied as electrical power generating system of autonomous objects.*

**Keywords:** cycleconverter, vector control method, complicated control law, input power factor.

**Введение**

Разработкой систем генерирования электрической энергии (СГЭЭ) для автономных объектов занимались многие специалисты в области электротехники, электромеханики и силовой электроники на протяжении не одного десятилетия [1–4]. Наибольший прогресс достигнут в разработке систем генерирования электроэнергии для авиационного транспорта. В последнее время при построении СГЭЭ типа «переменная скорость – постоянная частота» вновь появился интерес к использованию в качестве преобразователя электрической энергии циклоконверторов [5].

Циклоконверторы с естественной коммутацией по сравнению с другими преобразователями частоты обладают рядом достоинств. К ним можно отнести высокий КПД, достигаемый однократным преобразованием энергии, минимальное количество реактивных элементов, высокую надежность и большую перегрузочную способность преобразователя благодаря использованию тиристоров. Однако, наряду с вышеперечисленными достоинствами, Циклоконверторы обладают большим недостатком – низким входным коэффициентом мощности.

Предполагается, что введение векторного способа управления вентилям циклоконвертора, а также усложнение формы напряжения управления, могут улучшить значение входного коэффициента мощности и других энергетических характеристик,

позволив использовать циклоконвертор в качестве источника электроэнергии для летательных аппаратов.

### Теория

Структурная схема силовых цепей исследуемого циклоконвертора с комбинированным законом управления вентильными комплектами приведена на рис. 1.

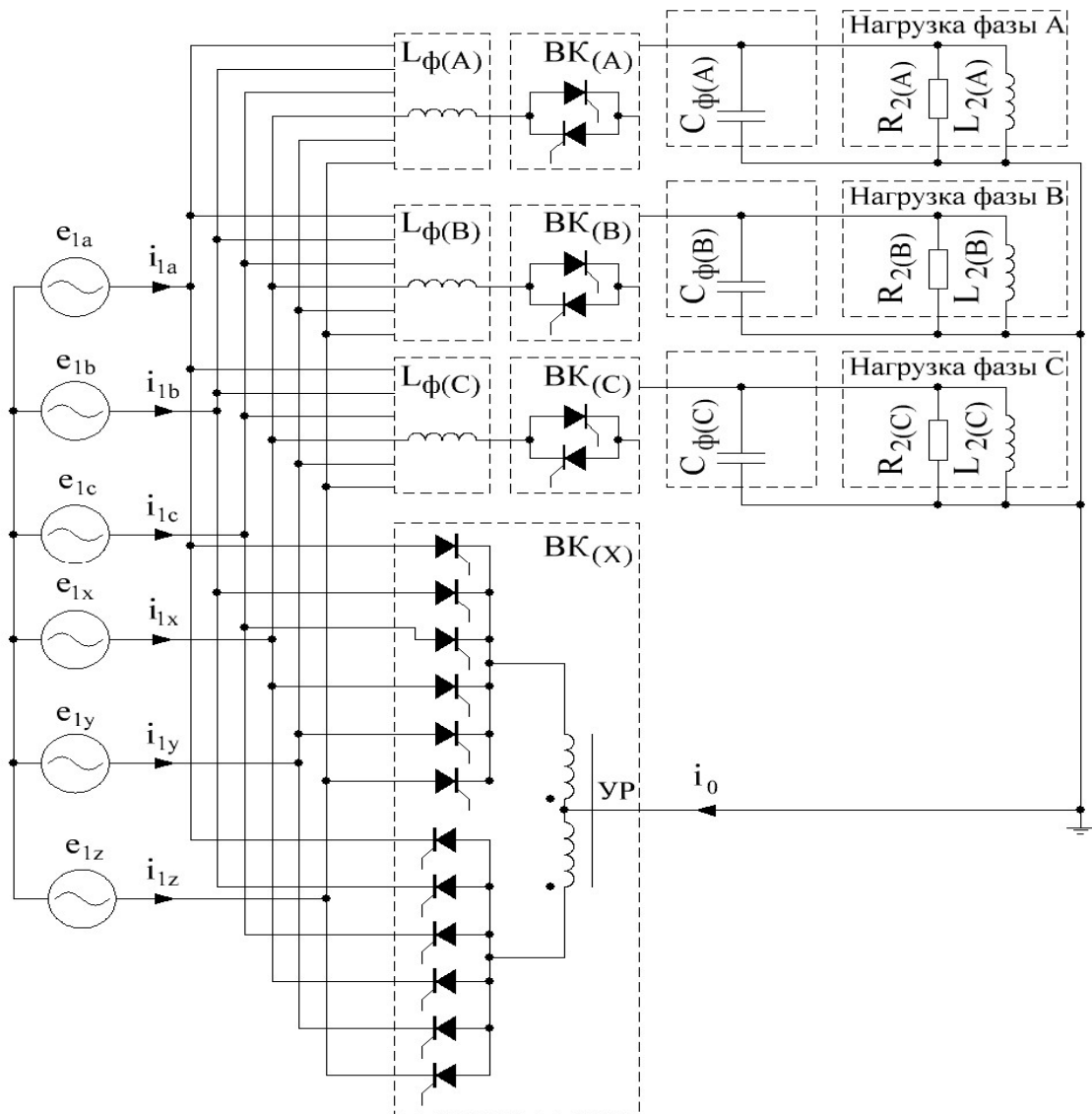


Рис. 1. Структурная схема циклоконвертора с комбинированным законом управления

Из рис. 1 видно, что исследуемый циклоконвертор состоит из четырех реверсивных вентильных преобразователей. Три из них работают в режиме раздельного управления на активно-индуктивную нагрузку каждый. Четвертый реверсивный вентильный преобразователь работает в режиме совместного управления и служит для компенсации третьей гармоники тока в нулевом проводе трехфазной нагрузки. В каждой фазе преобразователя имеется индуктивно-емкостной фильтр.

В исследуемой схеме формирование управляющих сигналов основано на векторном способе управления тиристорами реверсивных вентильных преобразователей циклоконвертора во вращающейся системе координат «dq». Структурная схема векторной системы управления циклоконвертором с комбинированным законом управления приведена на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что система управления содержит три контура обратных связей, которые формируют векторы сигналов управления в системе координат «dq». Обратное преобразование Парка-Горева позволяет из вращающейся системы координат «dq» получить

оси «abc». Сформированные сигналы управления корректируются при помощи контура нулевой последовательности и затем поступают на систему импульсно-фазового управления (СИФУ).

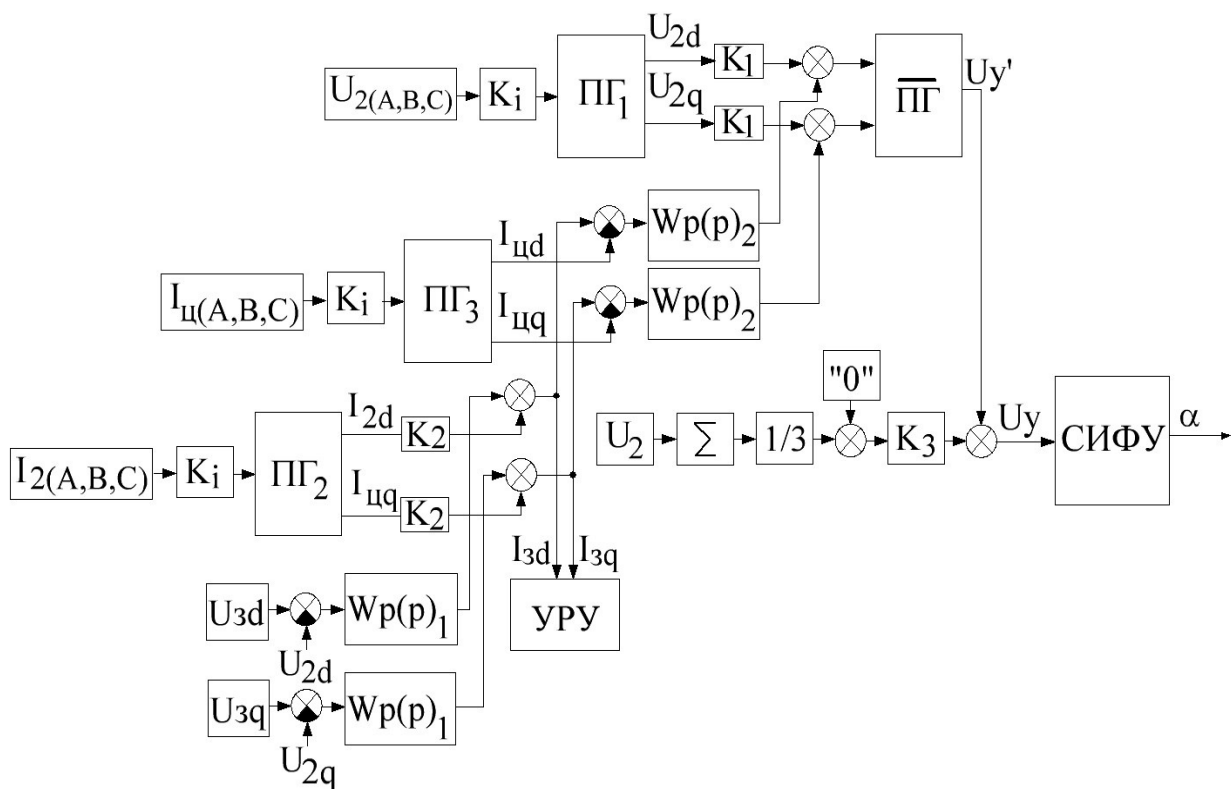


Рис. 2. Способ формирования сигналов управления вентильными комплектами циклоконвертора

Из рис. 2 видно, что система управления содержит три контура обратных связей, которые формируют векторы сигналов управления в системе координат «dq». Обратное преобразование Парка-Горева позволяет из вращающейся системы координат «dq» получить оси «abc». Сформированные сигналы управления корректируются при помощи контура нулевой последовательности и затем поступают на систему импульсно-фазового управления (СИФУ).

В исследуемой схеме циклоконвертора комбинированный сигнал управления – это синусоидальный сигнал, просуммированный с треугольной добавкой. Представленный способ управления позволяет расширить линейный диапазон для синусоидальной составляющей сигнала управления. Однако, введение гармоник комбинационной добавки с частотами  $(6k-3)\omega_2$  (где  $k = 1, 2, 3, \dots$ ) приводит к появлению аналогичных составляющих в спектре выходного напряжения циклоконвертора. Четвертый реверсивный вентильный преобразователь с совместным управлением компенсирует нулевую последовательность таких гармоник тока в нулевом проводе.

#### Проведение экспериментальных исследований

Математическая модель исследуемого циклоконвертера были разработаны в среде PSIM. На рис. 3 приведены осциллограммы напряжения и тока нагрузки фазы А циклоконвертора.

По сравнению с классической схемой, при комбинированном законе управления амплитуда выходного напряжения увеличилась. Возрос вклад основной гармоники в спектре выходного напряжения.

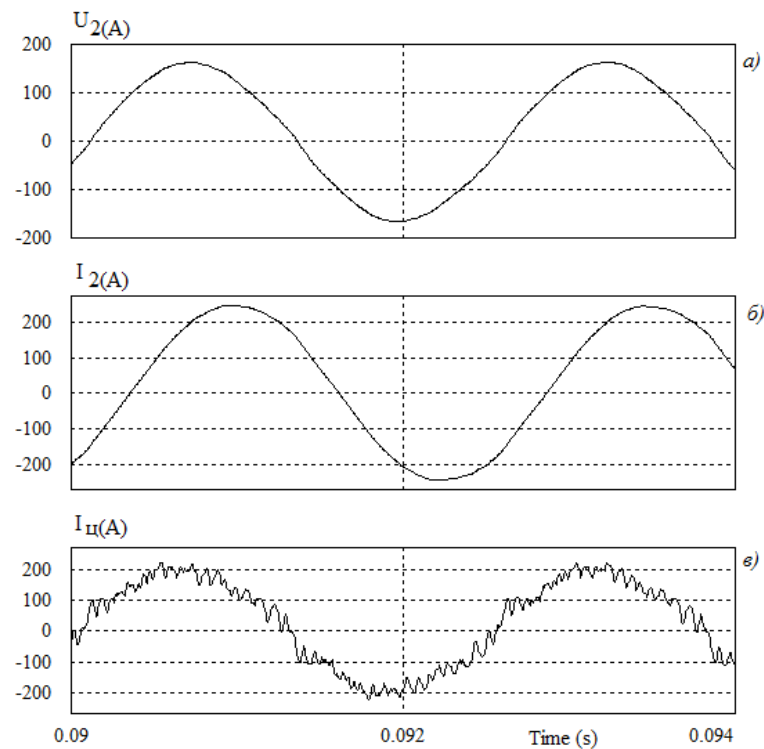


Рис. 3. Напряжение нагрузки фазы А (а), ток нагрузки фазы А (б), ток циклоконвертора фазы А (в)

На рис. 4 приведены напряжение и ток синхронного генератора фазы А.

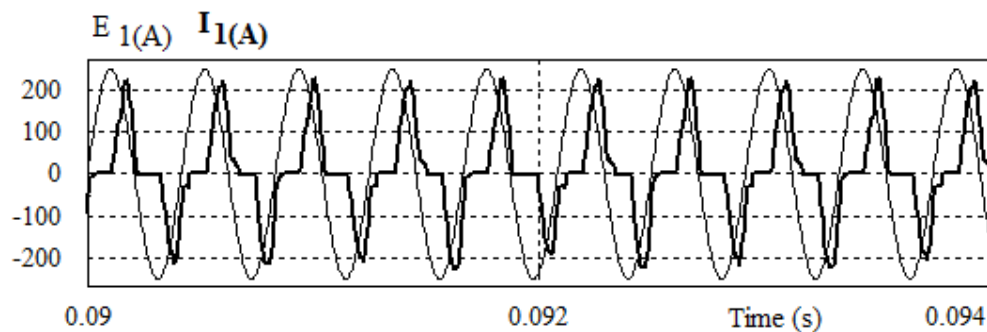


Рис. 4. Напряжение и ток синхронного генератора фазы А

В таблице представлены действующие значения основных сигналов фазы А исследуемого циклоконвертора.

Таблица  
Действующие значения основных сигналов фазы А

$U_{н(0)}$	$I_{н(0)}$	$I_{ц(0)}$	$I_{сг(0)}$	$U_{сг(0)}$	$K_{ни}$	$\chi$	$\eta$
115.1	174.29	141.54	97.84	155.53	0.02	0.54	0.98

Из рис. 3, рис. 4 и табл. 1 видно, что работа исследуемого циклоконвертора в номинальном режиме соответствует требованиям ГОСТ–54073-2010. Выходное напряжение и ток имеют синусоидальную форму. Коэффициент нелинейных искажений не превысил 2%.

### Выводы

В статье изложены результаты исследования, направленные на повышение энергетической эффективности системы электроснабжения летательных аппаратов.

Получены следующие результаты:

1. Предложен и разработан векторный алгоритм управления циклоконвертором.
2. Предложен способ повышения входного коэффициента мощности, позволяющий улучшить данный показатель на 23 % по отношению к классической схеме циклоконвертора.
3. Благодаря введению усложненного закона управления удалось повысить амплитуду первой гармоники выходного напряжения циклоконвертора на 12,5 % по отношению к классической схеме циклоконвертора.
4. Предложенная схема циклоконвертора соответствует требованиям ГОСТ–54073-2010 и может быть использована в качестве преобразователя частоты для авиационной СГЭЭ.

#### Список использованной литературы

1. Брускин Д. Э. Синдеев И. М. Электроснабжение летательных аппаратов. – М. : Высшая школа, 1988. – 264 с.
2. Харитонов С. А. Преобразователь частоты с непосредственной связью для автономных источников питания. Диссертация на соискание уч. степени канд. техн. наук. – Новосибирск: НЭТИ, 1978, 180 с.
3. Быков Ю. М. Непосредственные преобразователи частоты с автономным источником энергии. – М.: Энергия., 1977. – 144 с.
4. Харитонов С.А. Электромагнитные процессы в системах генерирования электрической энергии для автономных объектов. – Н.: – НГТУ. –2011
5. Циклоконвертор на базе шестифазной нулевой схемы с повышенным входным коэффициентом мощности / Р. Ю. Сараханова, С. А. Харитонов // материалы XIII международной конференции-семинара по микро/нанотехнологиям и электронным приборам, г. Эрлагол. – С. 341–344.

#### References

1. D. Bruskin, I. Sindeev Electricity aircraft. – M. : High school, 1988. – P. 264.
2. S. Kharitonov The frequency converter with direct connection to independent power supply. Thesis for distr. Ph.D. degree. tehn. Sciences. – Novosibirsk: NETI, 1978. P. 180.
3. Yu. Bykov Direct frequency converters with an energy source. – M.: Energy., 1977. – P. 144.
4. S. Kharitonov Electromagnetic processes in electrical power generation systems for autonomous objects. – N.: NSTU., 2011.
5. Cycle-converter based on six-phase zero circuit with hight input power factor / R. Sarakhanova, S. Kharitonov // XIII International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, Erlagol. – P. 341–344.

Поступила в редакцию 20.07 2014 г.